



MINISTERIO DE EDUCACIÓN
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA

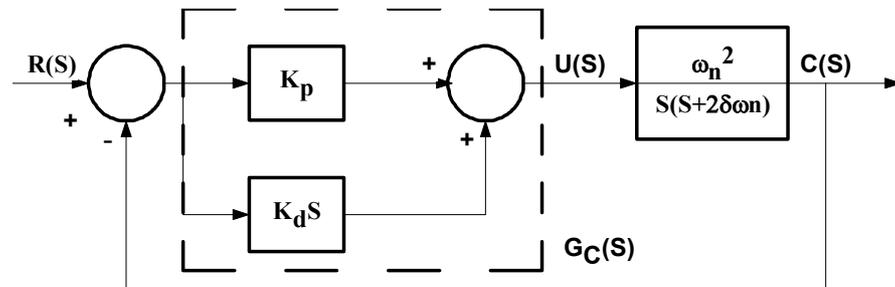
"RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE CONTROLADORES PID"



AUTOR: Ing. Analía Pérez Hidalgo
CÁTEDRA: CONTROL I
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

RESÚMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS EFECTOS DE CONTROLADORES PID

CONTROLADOR PD



$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p + K_d S = K_p \left(1 + \frac{K_d}{K_p} S\right)$$

- El controlador PD colocado en compensación en serie con la planta del sistema, añade un **cero simple** en $S = -K_p/K_d$ tanto a la Función de Transferencia de la trayectoria directa ($G(S)$), como a la Función de Transferencia del Sistema de lazo cerrado. **No agrega polos, por lo tanto no afecta ni el tipo ni el orden del sistema.**

- El controlador PD, es en esencia un **control anticipativo**, ya que $\frac{de(t)}{dt}$ representa la pendiente del error $e(t)$. Es decir, al conocer la pendiente, el controlador puede emplearla para anticipar la dirección del error y controlar mejor el proceso. Si la pendiente de $y(t)$ o $e(t)$ debida a la entrada escalón es grande, subsecuentemente ocurrirá un sobrepaso alto. El control derivativo mide la pendiente instantánea de $e(t)$ y predice el sobrepaso grande que ocurrirá luego en el tiempo y hace un esfuerzo correctivo antes de que el sobrepaso ocurra.

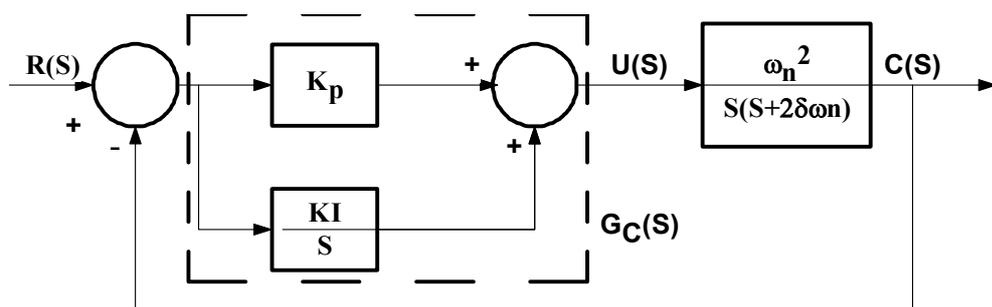
- Si el error en estado estable es constante, o varía muy lentamente, la derivada con respecto al tiempo de ese error es cero. La porción o parte derivativa del controlador, no provee ninguna acción correctora al proceso y el controlador adopta una actitud pasiva. Por eso se dice que el efecto del controlador tiene **una gran y rápida acción inicial, seguida de un eventual decaimiento a cero de la acción de control proporcional a la derivada del error**, solo actuará la parte proporcional al error. Pero si el error de estado estable se incrementa con el tiempo, se genera otra vez una acción proporcional a la derivada del error, lo cual reduce la magnitud del error.

- El controlador PD es un filtro Pasa Alto, tiene la desventaja que acentúa el ruido en altas frecuencias.

- El controlador PD al agregar un cero, aumenta el Ancho de Banda del sistema

- Al agregar un cero finito, que corresponde matemáticamente a una derivada, reduce el tiempo de asentamiento y levantamiento, haciendo que la respuesta al escalón levante rápidamente.
- Al agregar un cero a $G(S)$, la ecuación característica del sistema completo controlado es función de los parámetros K_d y K_p , la parte derivativa aumenta el amortiguamiento del sistema (en sistemas de 2° y 3° orden la constante k_d aparece en el coeficiente del término lineal) reduciendo el sobrepaso máximo, mejorando así el estado transitorio del sistema.
- **El controlador PD decrementa el sobrepaso máximo (M_p), el tiempo de levantamiento(t_r), y el tiempo de asentamiento o establecimiento (t_s).**
- En el caso de controladores constituidos por amplificadores operacionales, puede requerir un capacitor muy grande en la implementación del circuito.
- Una de las desventajas que tiene, es que si K_d no se calcula adecuadamente, cuando se presente repentinamente una señal de error que varíe rápidamente (por ejemplo ruido), la acción derivativa actúa severamente tratando de eliminar el mismo y la amplitud de la señal de control será de tal magnitud, que puede llevar a la saturación de algunos elementos integrantes del sistema y dañarlos.
- Además si K_d es muy grande, como el cero agregado está en $S = \frac{-K_p}{K_d}$, el cero se desplaza hacia el origen, transformándose en un derivador puro. Como matemáticamente la derivada de una señal escalón da una señal impulso, así la derivada de un cambio brusco de la señal de error, también da una señal de amplitud muy elevada, que a su vez produce una respuesta del sistema a la entrada escalón con un sobrepaso o sobreimpulso muy elevado, a veces inaceptable, ya que puede saturar o dañar los componentes. Por lo que hay que calcular adecuadamente K_d , y no aumentarlo en forma ilimitada.

CONTROLADOR PI



$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt$$

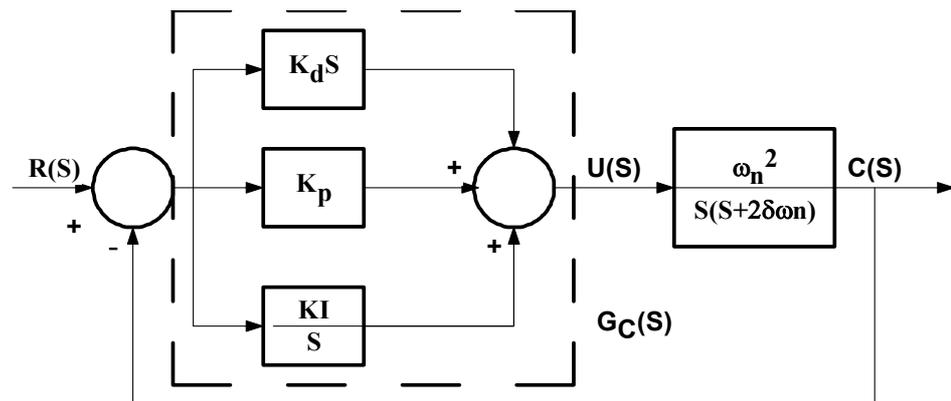
$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p + \frac{K_I}{S} = K_p \left(1 + \frac{K_I}{K_p S}\right) = \frac{K_p S + K_I}{S}$$

- El controlador PI produce una señal que es una parte proporcional a la integral del error y otra parte proporcional al error.
- Agrega un **polo en el origen a la Función de Transferencia de Trayectoria directa G(S)**, por lo tanto **aumenta el orden del sistema**, agregando un **polo finito a la Función de Transferencia de Lazo Cerrado**.
- El controlador PI colocado en compensación en serie con la planta del sistema, añade también un **cero simple** en $S = -K_I/K_p$ tanto a la Función de Transferencia de la trayectoria directa (G(S)), como a la Función de Transferencia del Sistema de lazo cerrado.
- Al aumentar el tipo del sistema, mejora el error de estado estacionario en un orden, por ejemplo si el error en estado estable a una entrada es constante, el controlador PI lo reduce a cero, pero la parte integral al mismo tiempo empeora la estabilidad relativa aumentando el sobreimpulso de la respuesta transitoria y las oscilaciones, y si K_I no está calculado adecuadamente puede llegar a hacer que el sistema se vuelva inestable debido al desplazamiento de los polos hacia la derecha.
- La acción correctora que es proporcional a la integral del error, proporciona una señal que es función de la propia historia de la señal de error, ya que la integral es una operación acumulativa en el tiempo, permite obtener una señal de control diferente de cero aunque la señal de error sea cero, es decir la acción de control siempre tiene un valor distinto de cero (cosa que no ocurre en el controlador proporcional, donde si la señal de error es cero la acción de control es cero.)
- El controlador PI es en esencia un Filtro Pasa Bajo, por lo que al agregar un polo a la F.T.L.C disminuye el Ancho de Banda del sistema, y filtra los ruidos de alta frecuencia.
- Al agregar un polo y reducir el Ancho de Banda, deja pasar señales de menor frecuencia a la salida del sistema haciendo que la respuesta sea más lenta, aumentando el tiempo de levantamiento y el tiempo de establecimiento.
- Al agregar un cero a G(S), la ecuación característica del sistema completo controlado es función de los parámetros K_p y K_I , la parte proporcional aumenta el amortiguamiento del sistema (en sistemas de 2° y 3° orden la constante k_p aparece en el coeficiente del término lineal) pudiendo mejorar el desempeño de la respuesta transitoria reduciendo el sobrepaso máximo.
- El controlador PI puede entonces mejorar la respuesta transitoria mejorando el amortiguamiento y reduciendo el sobrepaso máximo con la parte proporcional (K_p) y reducir el error de estado estable con la parte integral (K_I).
- Al igual que el controlador PD, si K_p es muy grande, como el cero agregado está en $S = \frac{-K_I}{K_p}$, el cero se desplaza hacia el origen, transformándose en un derivador puro. Como matemáticamente la derivada de una señal escalón da una señal impulso, así la derivada de un cambio brusco de la señal de error, también da una señal de amplitud muy elevada, que a su vez produce una respuesta del sistema a la entrada escalón con un sobrepaso o sobreimpulso muy elevado, a veces inaceptable, ya que puede saturar o dañar los componentes. Por lo tanto no se puede aumentar K_p en forma desmedida.

CONTROLADOR PID

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_I \int e(t) dt$$

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p + K_d S + \frac{K_I}{S} = \frac{K_d S^2 + K_p S + K_I}{S} = \frac{K_I \left(\frac{K_d}{K_I} S^2 + \frac{K_p}{K_I} S + 1 \right)}{S}$$



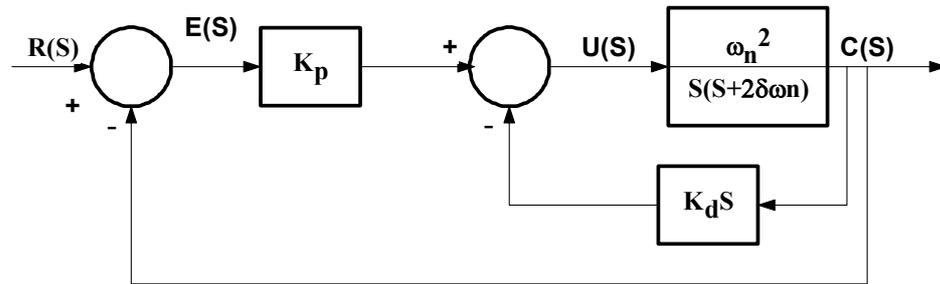
- Agrega un polo en el origen a la **Función de Transferencia de lazo abierto**, aumentando el tipo, y por lo tanto aumenta el orden del sistema, agregando un polo finito a la Función de Transferencia de Lazo Cerrado. También agrega **dos ceros finitos a la Función de la Trayectoria directa G(S)** y a la Función de Transferencia de Lazo Cerrado.

- El polo en el origen reduce el error e inestabiliza, mientras que con los dos ceros que dependen de la relación K_p / K_I y K_d / K_I , es posible mejorar la respuesta y estabilidad del sistema.

- Combina todas las ventajas de los controladores P, D, I. Aumenta la estabilidad con la parte derivativa, y proporcional, la rapidez de respuesta con la parte derivativa y da más exactitud con la parte integral.

- Para ajustar el PID con la metodología de prueba y error, se comienza aumentando K_p , haciendo cero K_d y K_I , hasta que la respuesta se comienza a inestabilizar. Luego se comienza aumentando K_d con $K_I=0$ hasta que no pueda aumentar más k_d porque se empeora la respuesta. Luego aumento K_I para bajar el error si aún no es cero, hasta que se inestabiliza. Luego se puede probar bajando K_p o aumentando K_d .

CONTROLADOR PD MODIFICADO



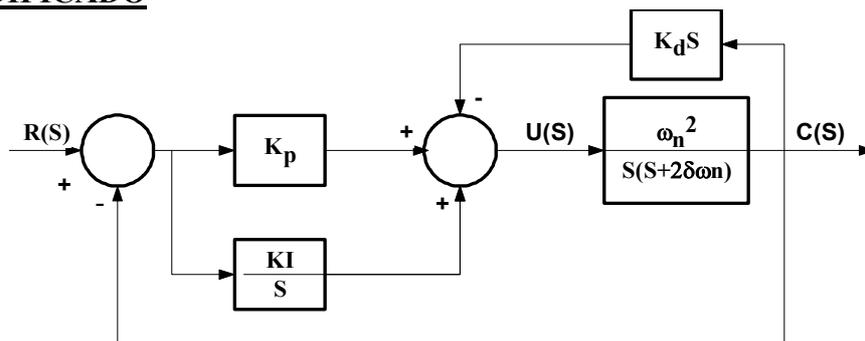
- La parte derivativa de la acción de control es tomada desde la salida y no desde la señal de error, esto tiene la ventaja que la derivada de la señal de respuesta no es tan brusca como la derivada de la señal de error, la cual varía muy bruscamente en el instante de producirse el cambio escalón. Esto trae como ventaja que no se produciría el efecto derivativo brusco que producía un PD convencional ante las variaciones repentinas.

- La Función de Transferencia de Lazo Cerrado es:
$$F.T.L.C = \frac{K_p \omega_n^2}{S^2 + (2.\delta\omega_n + kd\omega_n^2)S + K_p \omega_n^2}.$$

Comparando la Función de Transferencia de lazo cerrado del PD Modificado con el PD sin modificar, la primera tiene la ventaja que no posee ningún cero, y tiene la misma ecuación característica que el PD sin modificar, lo cual permite independizarse del problema que ocasionaba el variar la constante kd en el PD convencional, respecto al corrimiento hacia el origen, del cero ubicado en $S = -K_p/K_d$. Al no tener un cero la F.T.L.C puedo aumentar Kd para mejorar el amortiguamiento del sistema sin causar el riesgo reproducir un sobreimpulso inadmisibles. Los polos de un controlador PD y PD Modificado están ubicados en el mismo lugar.

- La parte derivativa no modifica el error de estado estacionario, solo se puede reducir actuando sobre la parte proporcional K_p .

PID MODIFICADO



- La Función de Transferencia de Lazo cerrado solo tiene un cero ubicado en $S = -K_I/K_P$ que no depende de Kd, por lo tanto se puede aumentar Kd sin correr el riesgo de correr la posición del cero hacia el origen, porque el cero que agrega el controlador no depende de Kd, y no se producen las derivaciones bruscas en los cambios repentinos, por lo tanto la respuesta no produce sobreimpulsos elevados a causa de aumentar Kd.

- Con el integrador puro aumento el tipo y se puede hacer cero el error de estado estacionario, esta es la principal diferencia entre un PD modificado y un PID modificado